

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в инновационной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа и синтеза с использованием специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения инновационной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники конкурентоспособной на мировом рынке
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением глубоких специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды

<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать глубокие знания в области проектного менеджмента для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем активно осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении инновационных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать глубокие знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.04 Биотехнические системы и технологии
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой Губарев Ф.А.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ41	Адиевой Юлии Рашидовне

Тема работы:

Использование лазерного монитора для визуализации слабоконтрастных объектов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3202/с от 26.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является активная оптическая система (высокоскоростной лазерный монитор). Лазерный монитор включает в себя активный элемент на парах бромида меди (длина активной зоны не менее 50 см, диаметр не менее 2 см., излучение на двух длинах волн 510.6 нм и 578.2 нм) и источник накачки с мощностью до 1.5кВт и частотой следования импульсов до 100 кГц.
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Литературный обзор (Методы неразрушающего контроля, слабоконтрастные объекты, методы микроскопии, метод Шлирина, лазерный проекционный микроскоп, лазерный монитор). • Исследование контраста получаемых изображений в схеме лазерного монитора. • Сравнение изображений слабоконтрастных объектов получаемы в схемах лазерного проекционного микроскопа, лазерного монитора, схемы Шлирина. • Получение изображений биологических объектов. • Изучение возможностей использования схемы лазерного монитора применяемо к фототерапии. • Заключение
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Нет</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>Технический</p>	<p>Тригуб Максим Викторович</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Кобзева Надежда Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Возможности использования схемы лазерного монитора для фотодинамической терапии в системе с “самооблучением” объекта.</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.09.2015
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ПМЭ	Евтушенко Геннадий Сергеевич	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Адиева Юлия Рашидовна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 12.04.04 Биотехнические системы и технологии
 Уровень образования магистратура
 Кафедра промышленной и медицинской электроники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.09.15	Обзор литературы по теме исследования	5
03.10.15	Выбор структурной схемы устройства	5
26.10.14	Проектирование оптических схем: лазерного монитора, лазерного микроскопа, схемы Шлиринга.	15
20.11.15	Проведение экспериментов и фиксирование результатов.	10
25.11.15	Эксперимент по оценке контрастности, оценка результатов.	15
11.12.15	Эксперимент по оценке выходной мощности в схеме лазерного монитора \в системе обратной связи.	10
22.01.15	Получение визуализации биообъектов в схеме лазерного монитора	10
05.06.16	Оформление расчетно-пояснительной записки	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Евтушенко Геннадий Сергеевич	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 28 рис., 10 табл., 81 источник, 1 прил. Ключевые слова: системы визуализации, лазерный монитор, слабоконтрастные объекты, коэффициент контраста, микроскопия.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, исследования объектов и методов микроскопии, исследования применимости схемы лазерного монитора для визуализации слабоконтрастных объектов для промышленного и медицинского использования, исследование возможности применения схемы лазерного монитора совместно с фотодинамической терапией для деструкции патологических тканей в системе с “самооблучением”, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования была показана возможность визуализации слабоконтрастных объектов на примере в схеме лазерного монитора, таких как лазерная керамика $94Y_2O_3+6ZrO_2$, и препараты кожи алоэ как пример биологического объекта. Так же, была рассмотрена возможность использования схемы лазерного монитора применительно к терапии опухолевых новообразований в схеме с “самооблучением”.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики устройства: CuBr-лазер с внешним нагревом, диаметр активной зоны 25 мм, длина 500 мм, ЧСИ 20 – 100 кГц, суммарная средняя мощность сверхсветимости 500 мВт.

Степень внедрения: лабораторный макет

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают работу со слабоконтрастными объектами. В частности, таковыми могут являться: клинико-медицинские исследования, дефектоскопия, отслеживание процессов создания оптической керамики, сборка электронных компонентов, а так же мониторинг состава пищевой продукции.

Экономическая эффективность/значимость работы: важной особенностью данного исследования, является возможность его применения в обширном диапазоне исследований. Контроль за слабоконтрастными объектами в

промышленности и медицине дает преимущество в повышении качества выпускаемой продукции, что будет благосклонно сказываться на уровне исследований и качестве работы предприятий.

В будущем планируется визуализация большего числа биологических объектов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»
2. ГОСТ 12.1.006-84* «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эми рч)»
4. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров»
5. ГОСТ 12.1.003-99 «Шум. Общие требования безопасности»
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое.
7. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»
8. ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

лазерный монитор: устройство, позволяющее наблюдать процессы в режиме реального времени с высоким временным разрешением, в том числе процессы, экранированные мощной фоновой засветкой.

«Обозначения и сокращения»:

УФ область спектра – ультрафиолетовая область спектра; ИК область спектра– инфракрасная область спектра; ЛПМ- лазерный проекционный микроскоп, ЛМ – лазерный монитор, ФДТ – фотодинамическая терапия.

Оглавление

Введение	11
Глава 1. Обзор литературы	17
1.1 Диагностика и визуализация слабоконтрастных объектов.	19
1.2 Микроскопия.	21
1.3 Шлирен метод или метод фазового контраста.....	29
1.4 Лазерный проекционный микроскоп и лазерный монитор.	34
Глава 2. Применение лазерного монитора для визуализации слабоконтрастных объектов.	Error! Bookmark not defined.
2.1 Изучения качества слабоконтрастных изображений получаемых в схеме лазерного монитора.	Error! Bookmark not defined.
2.2 Визуализация лазерной керамики, при помощи лазерного монитора, лазерного проекционного микроскопа и схемы Шлирена.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Визуализация биологических объектов.	Error! Bookmark not defined.
Глава 3. Возможности использования схемы лазерного монитора для фотодинамической терапии в системе с “самооблучением” объекта.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Применение лазеров в медицине.	Error! Bookmark not defined.
3.2 Лазеры для фотодинамической терапии.	Error! Bookmark not defined.
3.3 Оптические характеристики биотканей.	Error! Bookmark not defined.
3.4 Применение оптической схемы лазерного монитора.	Error! Bookmark not defined.
Глава 4. Социальная ответственность.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Производственная безопасность	Error! Bookmark not defined.
4.1.1 Электромагнитное излучение (ЭМИ).....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Освещенность рабочей зоны.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3 Лазерное излучение.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.4 Производственный шум.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.5 Термические опасности	Error! Bookmark not defined.
4.1.6 Электробезопасность	Error! Bookmark not defined.
4.1.7 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки.....	Error! Bookmark not defined.
4.2 Охрана окружающей среды	Error! Bookmark not defined.
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Error! Bookmark not defined.
4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	Error! Bookmark not defined.
4.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. .	Error! Bookmark not defined.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность	40
и ресурсосбережение	40
5.1 Организация и планирование работ	40
5.1.1 Продолжительность этапов работ	41
5.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	46
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	47
5.2.1 Расчет затрат на материалы	47
5.2.2 Расчет заработной платы	48
5.2.3 Расчет затрат на социальный налог	49
5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	50
5.2.5 Расчет амортизационных расходов	51
5.2.7 Расчет прочих расходов	52
5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	52
5.2.8 Расчет прибыли.....	52
5.2.9 Расчет НДС.....	53
5.2.10 Цена разработки НИР	53
5.3 Оценка экономической эффективности проекта.....	53
Список публикаций:	Error! Bookmark not defined.
Список используемых источников.	Error! Bookmark not defined.

Введение

Актуальность работы

Одной из важнейших задач неразрушающего контроля является определение параметров деталей, узлов, материалов и процессов без разрушения их целостности или вывода их из процесса работы, с целью получения информации об их качестве и техническом состоянии. Визуально-измерительный контроль это один из эффективных и удобных способов для выявления различных дефектов систем и материалов. Применяемо к слабоконтрастным объектам, методов их визуализации существенно меньше, и практически все из них обладают ограничениями. Возможность применения в микроскопии лазеров, в качестве источников излучения, открыла новые возможности в микроскопии объектов со слабым контрастом. А именно, применение специальных оптических систем, к примеру, таких как активные оптические системы (АОС) с усилителями яркости, активным элементом которых является лазер на парах бромида меди. Особенность его заключается в том, что изображения формируются с высокой частотой следования (десятки- сотни кГц), на двух длинах волн 510,6 нм и 578,2 нм, одновременно.

Схемы лазерного проекционного микроскопа и лазерного монитора активно используются для задач визуализации процессов в условиях высокой фоновой засветки. Но так же они могут оказаться актуальными для наблюдения слабоконтрастных объектов в нормальных условиях. Использование при этом АОС может повысить их эффективность в сравнении с другими имеющимися методами.

Цель работы

Целью настоящей работы является исследования лазерного монитора применительно к визуализации слабоконтрастных объектов промышленного и медицинского назначения.

Объект исследования и предмет

Объектом исследования является активная оптическая система – лазерный монитор (который включает в себя активный элемент на парах бромида меди и источник накачки, элементы оптической системы), а так же слабоконтрастные объекты, такие как лазерная керамика и препарат кожи алоэ. Экспериментальная часть работы выполнялась совместно с ИОА СО РАН.

Защищаемые положения

1. При снижении уровня входного сигнала на 75% контраст изменяется на 36%, а уровень фона на 11%, что доказывает возможность визуализации слабоконтрастных объектов в схеме лазерного монитора.
2. Возможность визуализации биологических объектов при уменьшении уровня входного сигнала.

Научная новизна

1. Впервые проведены исследования контраста в схеме лазерного монитора для слабоконтрастных объектов, а так же исследованы возможности применения CuBr-лазера в схеме лазерного монитора для фотодинамической терапии.

Практическая значимость

1. Возможность использования лазерного монитора для визуализации слабоконтрастных объектов.

2. Возможность применения CuBr-лазера в схеме лазерного монитора в онкологии.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в:

- проведения исследования контраста изображений слабоконтрастных объектов в схеме лазерного монитора;
- обработке полученных экспериментальных данных.

Постановка задач исследований, анализ полученных данных осуществлялись совместно с научным руководителем. Результаты, составившие основу защищаемых положений, получены лично автором, либо при его определяющем участии.

Апробация результатов работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях:

1. XII Международная конференция "Atomic and molecular pulsed lasers" AMPL-2015, г. Томск, сентябрь 2015
2. V Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» г.Томск, 2015 г.
3. На семинарах кафедры Промышленной и медицинской электроники ТПУ.

Основные результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в 1 статье в рецензируемых изданиях. Общее число публикаций по теме – 1.

Структура и краткое содержание работ

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, состоящего из 75 ссылок.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследования, представлены защищаемые положения. Отмечаются научная новизна и практическая значимость, приводится краткое содержание работ.

В первой главе проведен литературный обзор по теме исследования. Кратко рассматриваются методы оптического неразрушающего контроля, почему все еще существует потребность в оптимальном методе визуализации слабоконтрастных объектов, и каких именно. Рассматриваются методы микроскопии: темного поля, фазового контраста и пр., а так же методы, связанные с появлением в микроскопии лазеров как источников излучения. Далее описывается Шлирен метод, применяемый для контроля за образцами лазерной керамики, принцип построения оптической схемы и ее работа. Далее приводится краткий свод исследований который уже проводились в работах со схемами лазерного проекционного микроскопа и лазерного монитора.

Во второй главе подробно рассмотрен лазер на бромиде меди, используемый в схеме, а так же приведена краткая характеристика активных оптических систем. Далее приведены результаты эксперимента по оценке зависимости контраста в получаемых изображениях, от уровня фона на изображении, и величины мощности выходящего излучения. Для наглядного отображения результатов, были отстроены схемы лазерного монитора, лазерного проекционного

микроскопа и схемы по методу Шлирена, и приведены изображения полученный при каждой из них. В качестве экспериментального образца была использована лазерная керамика. Далее были проведены эксперименты с биологическими образцами на схеме лазерного монитора и при использовании оптического микроскопа.

В третьей главе описаны возможности применения лазеров для фотодинамической терапии. Приведены данные по первичному контрасту патологических тканей, приведены зависимости действенности фотосенсибилизаторов от длин волн лазеров на парах металлов. Приведена возможность реализации системы самооблучения объекта в схеме лазерного монитора, и приведены зависимости эффективности обратной связи на разных длинах волн при использовании разной оптики.

В пятой главе проводится анализ значимости работы, оценка коммерческого и инновационного потенциала разработки, разрабатывается план проекта и расчет бюджета научного исследования, оценивается сравнительная эффективность исследований.

В шестой главе проводится ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, предложены средства защиты. При анализе было обнаружено, что прибор не оказывает негативное влияние на окружающую среду. Приводятся меры по предупреждению наиболее типичной чрезвычайной ситуации.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Глава 1. Обзор литературы

В настоящее время методы неразрушающего контроля нашли широкое применение во многих областях деятельности человека. Увеличение выпускаемой продукции, ее разнообразие в конструкциях, материалах и особенностях эксплуатации, все это требует развития методов и приборов контроля качества. Исходя из этого, задача неразрушающего контроля будет звучать следующим образом: определение параметров деталей, узлов, материалов, и процессов без нарушения их целостности и выведения из работы с целью получения информации об их техническом состоянии, качестве и, в некоторых случаях, для более точного изучения процесса их работы.

Неразрушающий контроль охватывает широкий спектр методов для измерения и сравнения физических величин с эталонными значениями. Это используемая в промышленности и науке группа методов, применяемая для оценки свойств материалов, систем и их компонентов без причинения ущерба объектам и выведения их из работы.

Методы неразрушающего контроля принято делить на следующие пункты.

- Магнитные методы неразрушающего контроля
- Электрические методы неразрушающего контроля
- Вихретоковые методы неразрушающего контроля
- Радиоволновые методы неразрушающего контроля
- Тепловые методы неразрушающего контроля
- Оптические методы неразрушающего контроля
- Радиационные методы неразрушающего контроля

- Акустические методы неразрушающего контроля

В данной работе мы уделим внимание одному из представленных пунктов, а точнее оптическому методу. Его принцип основан на регистрации и анализе параметров, присущих оптическому излучению после взаимодействия с объектом. Данные методы позволяют обнаружить трещины, инородные включения, пустоты и поры в объектах контроля. Основные преимущества оптических методов заключаются в их простоте, использовании легкого в применении оборудования и небольшой трудоемкости, что позволяет применять их на различных стадиях промышленных процессов.

Данный метод охватывает диапазоны видимого, инфракрасного и ультрафиолетового спектра света. Применение оптического метода опирается как на простейшие законы геометрической оптики, так и на более сложные физические особенности света. Из описания оптического метода следует, что основными объектами исследований в данном случае будут прозрачные и полупрозрачные объекты для светового излучения. Если же речь идет о непрозрачных объектах, то при помощи оптических методов контроля возможно отслеживание их размеров и положения, а так же диагностика поверхностей на наличие дефектов.

Говоря об оптических методах неразрушающего контроля, мы можем условно разделить их на три группы.

- Фотометрический, спектральный, денситометрический и телевизионный методы обеспечивают меньшую субъективность контроля, так как строятся в основном на результатах аппаратных измерений. Их применение ближе к

работе с электронно-измерительными приборами по составу контрольно-измерительных операций.

- Интерференционный, фазово-контрастный, дифракционный, нефелометрический, рефрактометрический, стробоскопический, поляризационный, голографический методы используют волновые свойства света. Данные методы позволяют производить неразрушающий контроль объектов с точностью до десятых долей длины волны источника излучения.

- Визуальный и визуально-оптический методы, характеризуются тем, что личные качества оператора в наибольшей степени определяют результаты контроля. Визуальные методы контроля качества имеют наибольшее распространение, так как являются наиболее простыми и доступными [1,2].

1.1 Диагностика и визуализация слабоконтрастных объектов.

Визуализация слабоконтрастных объектов относится к оптическим методам неразрушающего контроля и длительное время оставалась труднодоступной. А между тем, многие сферы промышленности и медицины нуждаются в безопасном, простом и доступном методе визуализации слабоконтрастных объектов.

Говоря о слабоконтрастных объектах, мы можем дать им определение как объектам, которые имеют низкий коэффициент отражения проходящего излучения, в связи с чем, и возникают трудности регистрации отраженного излучения.

Одной из сфер, остро нуждающейся в точном и удобном методе контроля за слабоконтрастными структурами, является электронная промышленность. В связи с постоянным усложнением изделий и

повышением требований предъявляемых к данным исследованиям, возрастает и значение методов неразрушающего контроля микроструктуры материалов и изделий на всех стадиях их изготовления. Оптическая и электронная микроскопия, считающиеся традиционными методами дефектоскопии, имеют ряд ограничений в области визуализации микрообъектов [3]. У них есть ограничения в изучении внутренних областей материалов, а в случае с рентгентелевизионных микроскопов зачастую появляются сложности с расшифровкой изображений и работой со слабоконтрастными объектами.

Наибольшую сложность в работе с электронными изделиями представляет процесс сборки, в особенности, операции посадки кристаллов в корпуса — наиболее ответственной в технологическом процессе сборки. Она должна обеспечивать требуемое расположение кристалла, прочное механическое соединение, надежный электрический контакт и хороший теплоотвод [4]. Здесь встает вопрос не только в диагностике самого кристалла на наличие микрповреждений и внутренних дефектов, но и оптимального метода оптического контроля для самого процесса посадки кристалла на корпус.

Не менее важна визуализация слабоконтрастных изделий и при работе с такими структурами как оптическая керамика. Этот материал относится к классу функциональной керамики. Данный материал сочетает в себе светопрозрачность и высокую плотность. Он устойчив к агрессивным средам, по сравнению с обычным керамическими материалами [5]. И как уже ясно из определения светопрозрачности, проводить диагностику данного материала так же затруднительно. Свое применение оптическая керамика нашла в электронике (в качестве

диэлектрического материала). Но наибольшую популярность она получила для лазерных установок. Лазерная керамика зачастую используется как активная среда твердотельных лазеров, имея ряд преимуществ перед лазерным стеклом и кристаллами, при решении задач создания высокоапертурных лазерных элементов, работающих в непрерывном режиме или в режиме повторяющихся импульсов [6].

Но все же главной движущей силой для изучения возможностей визуализации слабоконтрастных объектов всегда была медицина. Диагностика, основанная на анализе и обработке медицинских изображений, всегда была сопряжена с необходимостью правильного обнаружения малоконтрастных объектов [7]. Даже в случае изучения биологических образцов жидкости, изначально, для их анализа приходилось вводить подкрашивающие вещества, что зачастую могло нарушить структуру изучаемого образца и исказить исходные данные. Были необходимы новые методы диагностики, для которых не требовалось лишнего вмешательства в образец, и которые способны были бы обнаружить объекты почти неотличимые по контрасту от остальной жидкости.

Постепенно, с уровнем развития микроскопии, появились такие оптические методы, а после и приборы, которые открыли новые возможности для диагностики.

1.2 Микроскопия.

Оптическая микроскопия уже на протяжении трех веков находит новые разнообразные методы применения. Данный подход основывается на использовании разницы в интенсивности и цвете определенных веществ или же структур объекта. Свое большее применение оптическая микроскопия нашла в клиническо-медицинских

исследованиях биологических жидкостей и объектов. Новые возможности в наблюдении и исследовании микроструктур в слабоконтрастных и неокрашенных биологических объектах открылись после разработок оптических систем для реализации методов темного поля, фазового и дифференциального интерференционного контраста. Наряду с этим шла разработка флуоресцентных микроскопов, что позволяло проводить избирательное наблюдение за флюоресцирующими молекулами [8].

И если зашла речь об оптической микроскопии, стоит озвучить основные методики в ней применяемые при работе со слабоконтрастными объектами.

- Оптическая микроскопия темного поля широко применяется при исследовании фазовых объектов в минералогии, биологии и физике. Данный метод основан на эффекте Тиндаля, при котором наблюдается дифракция света при сильном боковом освещении изучаемых частиц. Эффект достигается с помощью параболического или кардиоидного конденсора, которые заменяют обычный конденсор в биологическом микроскопе [9]. В простейшей реализации этого метода (рис.1) образец подсвечивается через конденсор с диафрагмированной центральной частью так, что падающий на образец поток света представляет собой полый конус [10]. Изображение формирует свет, рассеявшийся на фазовой структуре образца, при условии, что апертура объектива меньше апертуры конденсатора. Это достигается при помощи диафрагмы, которую помещают в обычный объектив, или же изначально используются объективы, снабженные ирисовой диафрагмой [11]. В отношении

пространственного разрешения метод темного поля практически эквивалентен традиционной оптической микроскопии [12]. И при этом, отсутствие фоновой засветки в изображении повышает обнаружительную способность метода темного поля, в сравнении с аналогичной характеристикой обычной микроскопии.

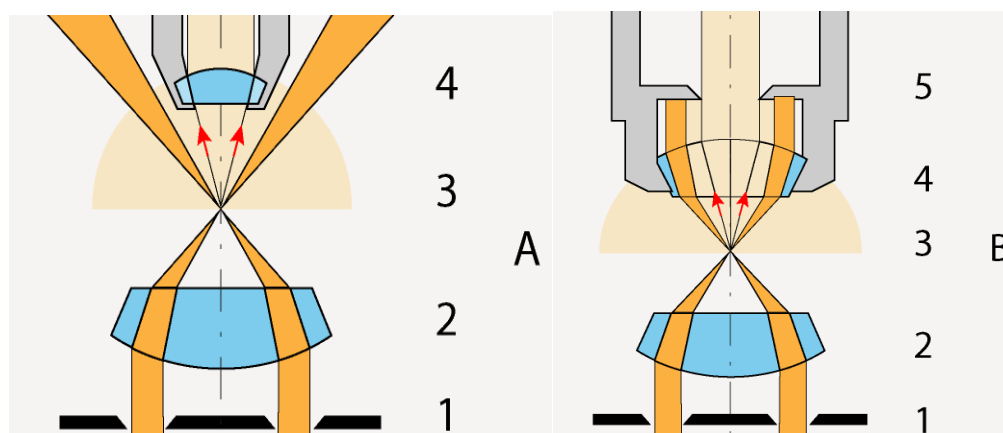


Рис.1- Темное поле в проходящем свете. (Метод А: темнопольная вставка в конденсоре) 1 — вставка в конденсор, 2 — конденсорная линза, 3 — образец, 4 — объектив

Темное поле в проходящем свете. (Метод В: апертурная диафрагма объектива с высокой NA, отрезающая проходящий свет) 1 — темнопольная вставка в конденсор, 2 — конденсорная линза, 3 — образец, 4 — объектив, 5 — апертурная диафрагма

- Метод фазового контраста, активно использующийся в биологии для изучения неокрашенных клеток, основывается на разности оптической плотности разных частей наблюдаемого объекта и среды, в которую он заключен (рис.3). К примеру, при изучении клетки помещенной в водный раствор, мы можем выделить три зоны (рис.2) : А (водный раствор), В (цитоплазма) и С (ядро) [13].

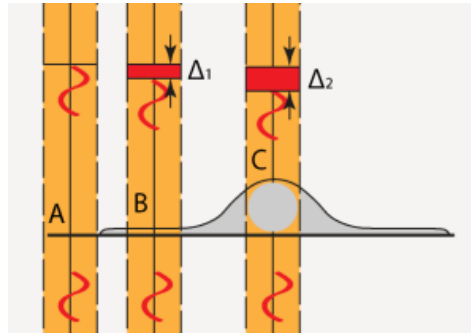
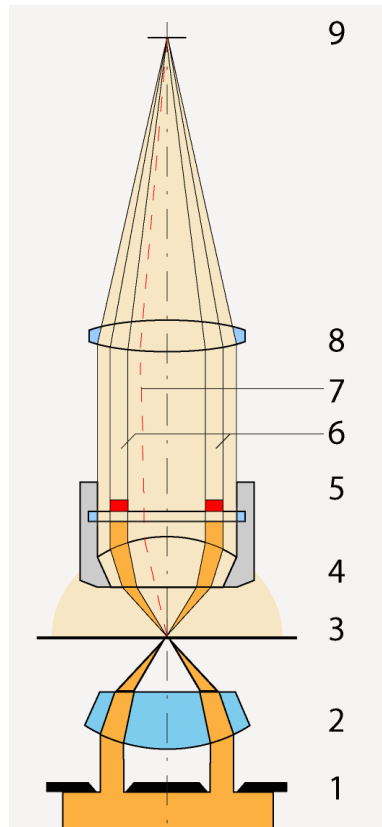


Рис.2-Запаздывание световых волн при прохождении через разные оптические среды. А — луч света, не прошедший через образец. В — луч света, прошедший через мембрану клетки (запаздывание Δ_1), С — луч света, прошедший через ядро (запаздывание $\Delta_2 > \Delta_1$)

Из-за разности показателя преломления, световые волны смещаются, проходя различные среды, происходит как геометрическое смещение, так и смещение фазы. На величину фазового смещения влияет оптическая плотность материалов, а также величина пути, которую свет прошел в данной среде. Метод фазового контраста дал ощутимый толчок для развития микроскопии, и ряду сопряженных с ней дисциплин, а также оказал огромное влияние на биологию и медицину. Благодаря ему, ученые смогли отказаться от окрашивания слабоконтрастных объектов и их фиксации, что открыло новые возможности [14].



*Рис.3-Метод фазового контраста в проходящем свете.
1 — фазовая вставка в конденсор, 2 — линза конденсора, 3 — образец, 4 — объектив, 5 — фазовое кольцо в объективе, 6 — лучи со сдвигом фазы, 7 — луч без запаздывания*

- Метод дифференциально-интерференционного контраста является по сути усовершенствованным методом поляризационного контраста, и кроме визуализации слабоконтрастных объектов применяется для диагностики неровностей на различных поверхностях. В проходящем свете дифференциально-интерференционный контраст реализуется несколько сложнее из-за использования двух двулучепреломляющих призм. В отличие от поляризационного метода, в оптический путь луча дополнительно вводятся две дифференциально-интерференционно контрастные призмы — в конденсатор и вблизи зрачка объектива. Призма в конденсоре

осуществляет векторное разложение плоскополяризованного света по двум взаимноперпендикулярным направлениям колебаний и смещает их в боковом направлении так, что в препарате возникает боковое смещение (рис. 4).

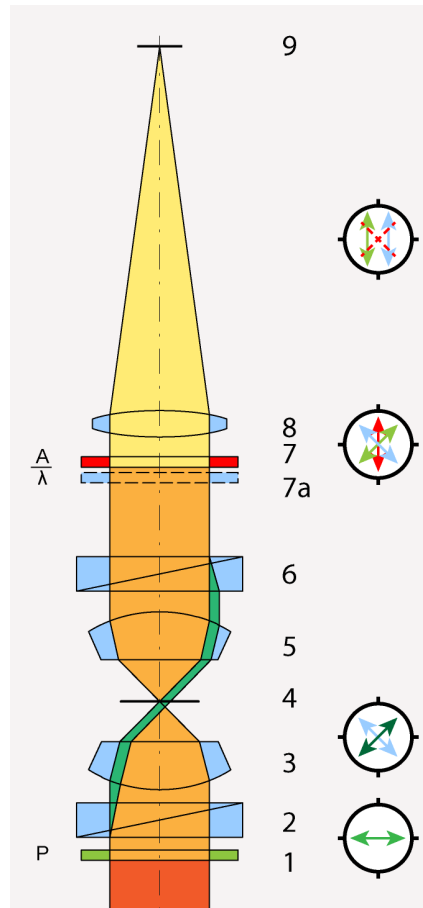


Рис.4-Дифференциально-интерференционный контраст (ДИК контраст) в проходящем свете. 1 — поляризатор, 2 — ДИК призма, 3 — конденсор, 4 — образец, 5 — объектив, 6 — ДИК призма объектива, 7а — лямбда пластина, 7 — анализатор, 8 — тубусная линза

Вторая ДИК призма собирает частичные пучки света, после их прохождения через исследуемую среду, и приобретшие разность хода (если среда была неоднородна). Анализатор выбирает из пучков только те, что колеблются в его стороны, и таким образом после него, мы получаем лучи колеблющиеся в одном направлении и разные по фазе. При их наложении друг на

друга, лучи интерферируют, и тем самым по фазовому сдвигу рассчитывается разность интенсивности.

Новый шаг в развитии микроскопии произошел благодаря применению лазеров, как источников излучения. Особенно это касалось методов лазерной флуоресцентной микроскопии: лазерной сканирующей конфокальной микроскопии (ЛСКМ), микроспектроскопии, многофотонной микроскопии [15], микроскопии на основе измерения времени жизни флуоресценции [16], микроскопии с применением эффекта полного внутреннего отражения и 4Pi микроскопии [17].

Люминесцентная микроскопия основана на явлении фотолюминесценции, при котором возникает свечение веществ после воздействия на них света. Конфокальная флуоресцентная микроскопия отличается от обычной флуоресцентной микроскопии улучшенным разрешением вдоль оптической оси объектива. Это возможно благодаря использованию принципа конфокальной фильтрации флуоресценции, излучаемой образцом.

Конфокальную флуоресцентную микроскопию принято рассматривать как разновидность традиционной флуоресцентной микроскопии, с тем условием, что в качестве источника света для нее применяются лазеры. Благодаря этому, а также конфокальной диафрагме, в конфокальных микроскопах на порядок повышается разрешающая способность. Вторым преимуществом лазеров в сравнении с ксеноновыми и ртутными лампами являются монохроматичность генерируемого света и высокая параллельность испускаемого пучка света (Рис.5). Эти свойства и обеспечивают для

оптической системы более эффективную работу, улучшают точность фокусировки пучка света и уменьшают число бликов [18].

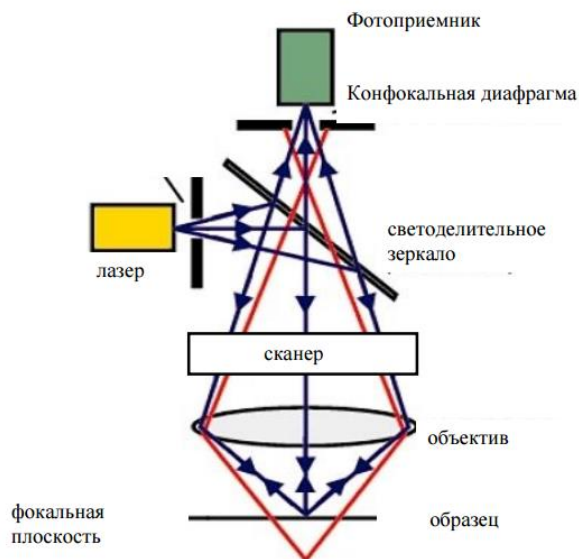


Рис.5- схема конфокально флуоресцентного микроскопа.

Такое устройство микроскопа позволяет получить изображение с очень тонкого слоя объекта - “оптический срез”. По сравнению с обычной световой микроскопией, изображение более контрастное и четкое.

Современные ЛСКМ рассчитаны на работу в широком спектральном диапазоне видимого света и ближних ИК и УФ диапазонов. Учитывая богатое разнообразие исследуемых материалов, важным фактором является возможность использовать несколько лазеров для возбуждения люминесценции флуорохромов в разных областях спектра. Главное условие для визуализации, это как можно более близкое совпадение спектральной линии лазера с максимумом спектра поглощения флуорохрома. Не менее важной является мощность лазера и режим его работы (так как для ЛСКМ в основном используют лазеры непрерывного излучения)

Таблица.1- типы лазеров применяемых в ЛСКМ.

Тип лазера	Длина волны излучения, Нм	Максимальная мощность, мВт
Ar-UV	351, 364	80
Диодный (п/п)	405	50
He-Cd	442	30
ArKr	488, 568, 647	125
Ar	458, 477, 488, 496, 514	200
HeNe	543,633	1.5, 4
Kr	568	40
Ti-Sapphire	720-1000	1

Последующее развитие ЛСКМ привело к возможности создания спектральных лазерных сканирующих конфокальных микроскопов, разработанных на основе нескольких оригинальных оптических схем.

1.3 Шлирен метод или метод фазового контраста.

Говоря о визуализации слабоконтрастных объектов, стоит обратить внимание на методы лазерной дефектоскопии применяемой для анализа и диагностики монокристаллов, а так же схожих с ними по свойствам полупрозрачных объектов, применяемых в лазерной технике и прочих областях промышленности. Для монокристаллических материалов используемых в лазерах, важным показателем качества является наличие внутренних дефектов и неоднородностей, поскольку они могут вносить значимые искажения в работу лазеров. Для диагностики подобных объектов несомненно могут быть использованы методы микроскопии, описанные в предыдущем пункте. Так как использование окрашивания (возможного для некоторых методов диагностики биологических объектов) здесь абсолютно неуместно. Во-первых, это маловероятно для реализации, а во-вторых, испытываемый

образец таким образом попросту придет в негодность для его прямого назначения. Но, используя методы микроскопии, мы можем получить визуализацию ограниченного пространства исследуемого объекта.

Это подводит нас к вопросу о методах диагностики слабоконтрастных объектов, обладающих большей контрастностью получаемого изображения, а также более широкой областью облучения.

Шлирен означает беспорядки градиента или неоднородности в распределении показателя преломления в прозрачных средах, которые не видны человеческому глазу [19-22]. Изначально изображение Шлирена было применимо к визуализации незначительных изменений в показателе преломления для таких материалов как биологические образцы [19], прозрачные жидкости [23] и разреженные газы [22].

Первые эксперименты по работе с Шлирен-методом проводились Робертом Гуком в 1665 году, который использовал для этого большую выпуклую линзу и две свечи для того, чтобы спроектировать прямой пучок света. Но систему, наиболее приближенную к современной, впервые использовал Август Теплер, созданную для обнаружения дефектов в стекле, предназначенном для линз. В системе Теплера, использовался точечный источник света, для освещения испытательного объекта содержащего Шлирен. Источник света проектировал тень испытательного объекта с переменной плотностью на экране. Изменения в показателе преломления были визуализированы как тени в пропущенном свете, по причине того, что разница плотностей искажала ход лучей от точечного источника. Тени создавались на экране в тех местах, где лучи были отклонены от своего естественного хода, а все остальные места на фоне этого, казались более яркими [23,24].

В последующих работах, в качестве источника излучения был использован лазер. В опытах с получением изображения при помощи фазового контраста, проведенных Альфредом Фогелем, использовался пульсирующий лазер для отображения изменения плотности жидкого пара.[25]. Для отображения фазы контраста в экспериментах Фогеля, применялись коллимированный источник света, для освещения объекта и щелевой фильтр, подобный фильтру Шлирена, который позволял визуализировать пространственные изменения показателя преломления, являющиеся причиной потерь рассеивания в прозрачном материале по всему поперечному сечению образца. Рис.6 показывает основную установку, которая была использована в эксперименте отображения фазы контраста.

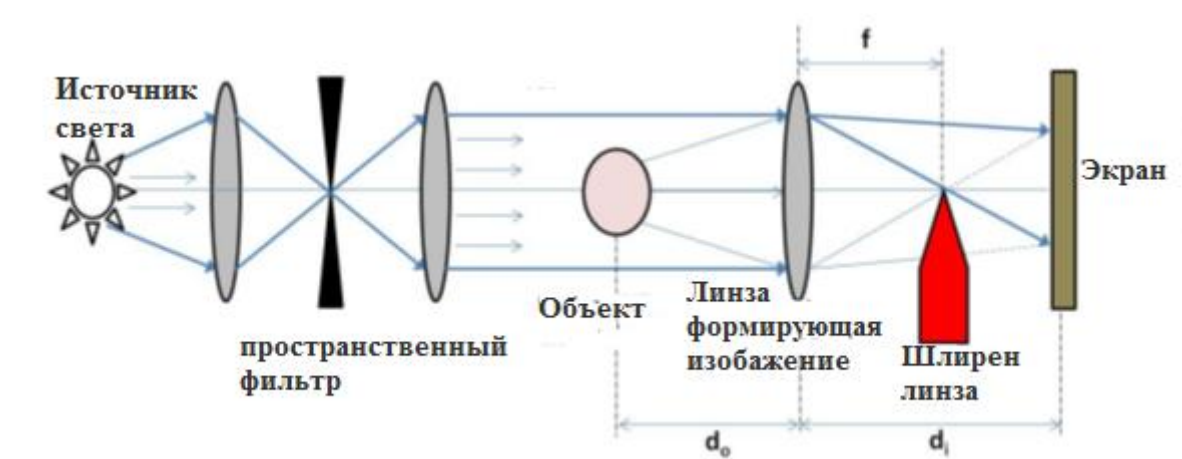


Рис.6 – схема для получения изображения при помощи фазового контраста (по методу Шлирена)

Изображение образца было сформировано при помощи сходящейся линзы или же линзой Шлирена. Согласно уравнению тонкой линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

То, где f - фокусное расстояние imaging lens,

d_o - является расстоянием от объекта до линзы

d_i - расстояние от изображения (объекта) к линзе.

Экран располагается в одной плоскости с линзой Шлирена. Диафрагма, расположена в фокусном расстоянии линзы помещается таким образом, чтобы частично блокировать световой поток падающий на экран. Перекрытие диафрагмы постепенно сокращает освещение экрана от 100% до 0%. Этот метод дает информацию о признаке градиентов фазы (отклонения света). У наблюдаемых объектов на экране создается эффект апельсиновой корки. Это отражает изменения в показателях преломления структуры объекта, что упрощает их анализ. Изменение в яркости пропорционально сумме отклонения и обратно пропорционально ширине освещенного разреза. Таким образом, расширенный источник света приводит к большому динамическому диапазону, в то время как маленький разрез к высокой чувствительности. Обычно, диафрагма блокирует больше половины не отклонённого света, более 80%, что увеличивает чувствительность метода, но уменьшает размер исследуемого участка изображения.

Процесс записи изображений Шлирен методом происходит в четыре шага.

1. Запись изображения в светлом поле (0% перекрытия)
2. Запись изображения в тёмном поле (100% перекрытия)
3. Изменения уровня перекрытия и регистрация изображения, для сравнения. Оптимальный предел зависит от степени неоднородности образца, и наиболее предпочтительным уровнем принято считать 75%.
4. Образец удаляется для регистрации фонового изображения. Фоновое изображение впоследствии используется в

обработке результатов для вычитания, чтобы определить уровень ноля изображения [27].

На рис.7. вы можете увидеть усовершенствованную версию установки Фогеля, которая была использована для анализа лазерной керамики [26].

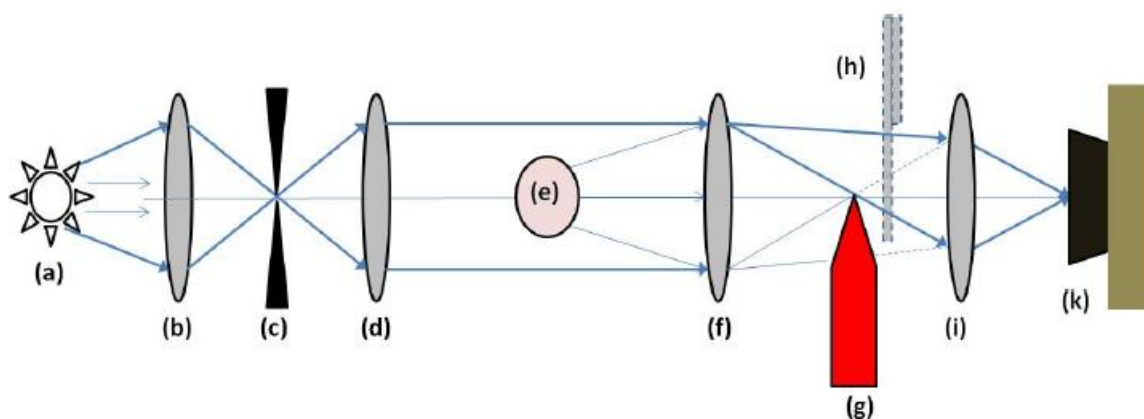


Рис.7- Схема Шлирен аппарата для обработки изображений. (a) Источник света, (b) коллиматорная линза (L1), (c) Пространственный Фильтр, (d) конденсорная линза (L2), (e) Объект, (f) основная фокусирующая линза (L3), (g) Фильтр Шлирена, (h) Кремниевый Фотодетектор, (i) вторичная ворчащая линза (L4), (k) Цифровой фотоаппарат.

Нововведения позволили сделать метод более простым и быстрым (чему в немалой степени поспособствовали современные скоростные камеры и использование ПК), решили проблемы с ограничением размера образца и поля зрения. Но по-прежнему к исследуемым образцам требуется повышенное внимание, аккуратность, определенные условия хранения, а так же предварительная обработка.

Одним из главных преимуществ существующей установки является возможность, изменяя фокусное расстояние линзы, выбирать оптимальную глубину образца, с которой нужно получить изображение. Это позволяет выявлять локализованные дефекты, существующие на различных глубинах.

1.4 Лазерный проекционный микроскоп и лазерный монитор.

Многие задачи научного и прикладного характера требуют при визуализации объектов выводит изображения на большие экраны. Ранее, для этого требовалось создание освещающего пучка высокой мощности, что в итоге приводило к необратимым изменениям в изучаемом образце в процессе его изучения. Выход из этой ситуации был найден при помощи лазерного проекционного микроскопа (ЛПМ) [28-29], где возможно было увеличивать яркость изображения объекта или процесса, за счет применения усилителя яркости. Основные требования, предъявляемые к подобным усилителям яркости изображения, впервые были сформулированы в работе [29], где было показано, что под эти требования лучше всего подходят активные среды на парах металлов. Данные исследования открывали возможность наблюдения за слабоконтрастными объектами на большом экране, для изучения и контроля процесса воздействия на них [30].

Усиление яркости изображения достигается за счет использования когерентного усиления собственного, отраженного от исследуемого объекта излучения в активной среде лазера [31]. В моностатической схеме лазерного микроскопа, являющейся на данный момент наиболее распространенной [32], используется один лазер, выступающий одновременно и излучателем и усилителем изображения. Активные среды в данном случае, используются как для усиления изображения объекта, так и для его освещения. Очевидно, что одним из важных достоинств данной схемы является простота ее реализации. Однако, имеются так же и минусы, среди которых ограничение в расстоянии между объектом исследования и лазером, которое зависит от длительности существования инверсии в активной среде, типичное значение которой составляет 20 – 40 нсек. Следовательно, в

моностатической схеме устройства данное расстояние не должно превышать 5 м.

Простейшая схема проекционного микроскопа представлена на рис. 8

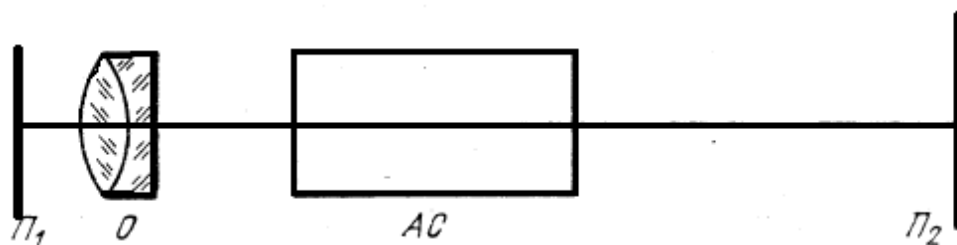


Рис.8. Схема лазерного проекционного микроскопа: П1 — плоскость предмета; П2— плоскость изображения; АС — активная среда с большим усилением; О — объектив.

На рис. 8 представлена схема лазерного проекционного микроскопа работающего в проходящем свете. Для целей связанных с медициной, биологией, микроэлектроникой и петрографией, необходим был микроскоп, дающий изображение в проходящем свете. Его схема и характеристики представлены в работе [30].

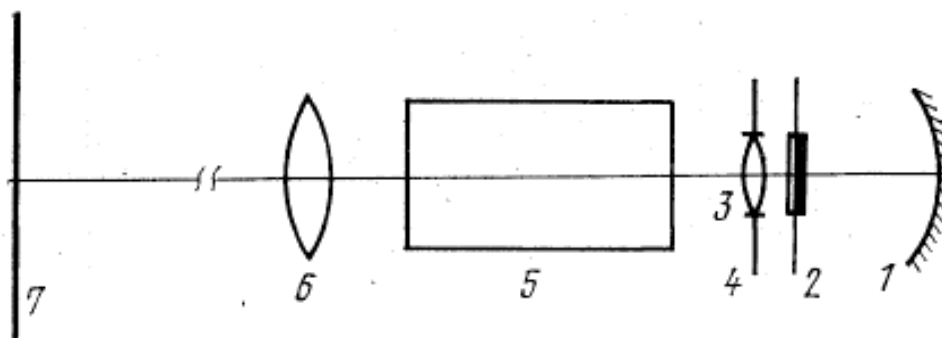
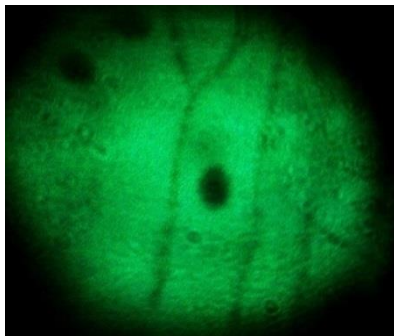


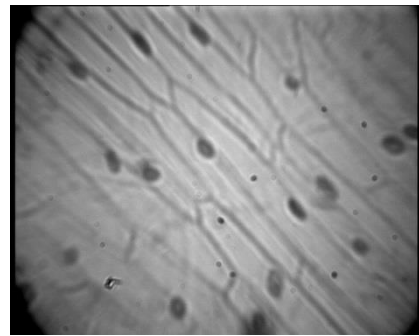
Рис. 8. Схема ЛПМ, работающего в проходящем свете. 1- Сферическое зеркало, выступающее в роли конденсатора, 2-объект, 3- объектив, 4- диафрагма, 5- активная среда, 6- линза, 7- экран.

Как ранее было указано, в качестве активных элементов в лазерных проекционных микроскопах, предпочтительнее использовать

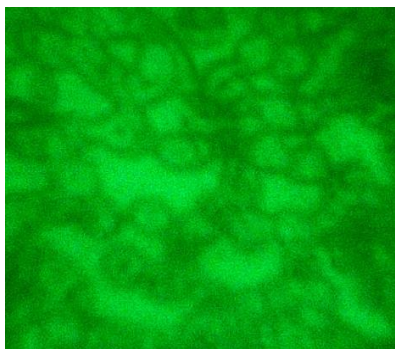
лазеры на парах металлов. В работе [30] использовался лазер на парах меди. Активный элемент представлял из себя объём ограниченный керамической трубкой на основе окиси алюминия. Он работал в режиме саморазогрева с частотой повторения импульсов накачки 15 кГц. Для предотвращения паразитной генерации окна разрядной трубки были выполнены в виде плоскопараллельных пластин приклеенных под определенным углом к оси трубки, и вынесены в холодную зону. Активная среда обеспечивала усиление на длинах волн 510,5 нм в зеленой и 578,2 нм в желтой областях спектра. В качестве объектива же применились стандартные объективы. На рис. 9 даны примеры визуализации биологических объектов при помощи ЛПМ полученные в работе [33].



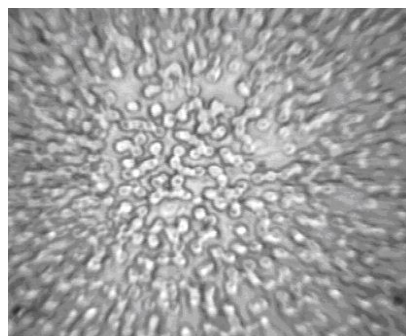
a_1



a_2



b_1



b_2

Рис.9 – варианты визуализации биологических объектов.

a_1 – срез лука в ЛПМ, a_2 - срез лука в обычном микроскопе.

b_1 – мазок крови в ЛПМ, b_2 - мазок крови в обычном микроскопе.

Не менее важной характеристикой ЛПМ является значение средней мощности светового пучка, несущего изображение. На данное значение существенным образом влияет расстояние между зеркальным конденсатором (с радиусом кривизны 8 см) и объектом.

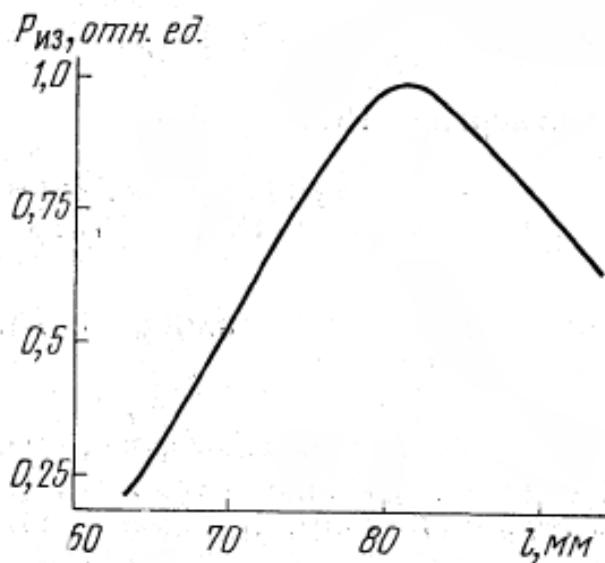


Рис.10- Зависимость суммарной (на двух линиях) средней мощности света, несущего изображение, от расстояния между конденсором и объективом.

И как мы можем видеть из графика (рис.10), взятого из работы [31] мощность пучков, несущих изображение максимальна при $l=8$ см. То есть в том случае, когда освещенный участок объекта изображается зеркальным конденсором сам в себя, т. е. объект находится от конденсора на расстоянии радиуса кривизны последнего. При этом основная мощность (более 90% от общей мощности света на экране) сосредоточена в изображении, образованном в проходящих световых пучках.

Впоследствии, результаты работы с лазерным проекционным микроскопом привели к появлению термина “лазерный монитор” И.И.Климовским в его работах [34-35]. Его основным применением считаются случаи наблюдения объектов и быстропротекающих процессов в условиях мощной засветки [36].

В работе [37] лазерный монитор использовался для диагностики стеклоглерида и пироуглерида и стекла. Целью исследований было

исследование взаимодействия лазерного луча с поверхностью стеклоуглерода.

Стоит так же отметить, что изучение лазерного монитора в вопросах визуализации объектов при высокой фоновой засветке были освещены так же в работах [38-41]. При всем этом, качества присущие лазерным мониторам, с активными средами на парах металлов, как и в случае с проекционными микроскопами, актуальны для работы со слабоконтрастными объектами, чему и будет посвящена данная работа.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица *Error! No text of specified style in document..1* Перечень работ и продолжительность их выполнения (пример)

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% ИП – 70%

Проектирование оптических схем: лазерного монитора, лазерного микроскопа, схемы Шлиринга.	НР, И	НР – 100% И – 80%
Проведение экспериментов и фиксирование результатов.	НР, И	НР – 50% И – 100%
Эксперимент по оценке контрастности, оценка результатов.	НР, И	НР – 50% И – 100%
Обработка результатов экспериментов на ПК.	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами,

то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом

или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1-a)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (5.1-б)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 5.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в

календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (5.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1–1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (5.3)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формулеⁱ

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 5.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (5.1-а), при использовании формулы (5.1-б) необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob} . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_d = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} * K_d$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_k (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям T_{kd} (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 5.3.

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			исполн.
		t_{min}	t_{max} x	$t_{ож}$	P
1	2	3	4	5	
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	3,36
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2	3	2,4	2,88
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	12	15	16,2	4,75
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	1,51
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	7	14	9,8	11,76
Проектирование оптических схем.	НР, И	10	14	11,6	11,1
Проведение экспериментов.	НР, И	20	25	22	13,2
Эксперимент по оценке контрастности.	НР, И	10	12	10,8	6,48
Обработка результатов.	И	5	6	5,4	
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	7,2	
Оформление графического материала	И	6	9	7,2	
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46
Итого:		90	129	108,6	62,86

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ.}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5.5)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (5.5)$$

Применительно к таблице (5.2) величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ.}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (5.4).

Таблица *Error! No text of specified style in document..4* Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2,5	2,5
Составление и утверждение ТЗ	2,2	4,7
Подбор и изучение материалов по тематике	14,9	19,6
Разработка календарного плана	2,5	22,1
Обсуждение литературы	3,8	25,9

Выбор структурной схемы устройства	9	34,9
Проектирование оптических схем: лазерного монитора, лазерного микроскопа, схемы Шлиринга.	10,6	45,5
Проведение экспериментов и фиксирование результатов.	20,2	65,7
Эксперимент по оценке контрастности, оценка результатов.	9,9	75,6
Обработка результатов экспериментов на ПК.	4,9	80,5
Оформление расчетно-пояснительной записки	6,6	87,1
Оформление графического материала	6,6	93,7
Подведение итогов	5,8	100

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых

непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример см. в табл. 5.5

Таблица 5.5 Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
CuBr-лазер	27800	1	27800
Оптическая система	8700	1	8700
Расходные материалы	1000	1	1000
Бумага	140	1	140
USB flash накопитель	650	1	650
Канцелярские товары	200	1	200
Итого:			38490

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 38490 * 1,05 = 40414,5 \text{руб.}$

5.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной

заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24,83 \quad (5.6)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе)¹.

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,592$.

Таблица *Error! No text of specified style in document..2* Затраты на заработную плату

	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	62	1,699	98 698,54
И	14 874,45	599,05	114	1,62	110632,55
Итого:					209331,09

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя

отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 209331,09 * 0,3 = 62799.32$ руб.

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об.}} \cdot t_{\text{об.}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (5.7)$$

где $P_{\text{об.}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об.}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5,257$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об.}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (5.8)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об.}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об.}} = P_{\text{ном.}} * K_c \quad (5.9)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

Таблица *Error! No text of specified style in document..3* Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об.}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об.}}$, кВт	Затраты $Э_{\text{об.}}$, руб.
---------------------------	---	--	---------------------------------

Персональный компьютер	276*0,6	0,3	261,1
Лазерная установка	408*0,6	0,6	772,14
Итого:			1033,7

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 5.7.

2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{OB} * t_{pf} * n}{F_D}, \quad (5.10)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} .

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 * 45000 * 276 * 1}{2415} = 2057,14$$

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 * 27800 * 408 * 1}{2415} = 1878,65$$

5.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (40414,5 + 209331,9 + 62799,32 + 1033,7 + 3935 + 0) \cdot 0,1 = 31751,442 \text{ руб.}$$

5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ»².

Таблица *Error! No text of specified style in document.*4 Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	40414,5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	209331,9
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	62799,32
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1033,7
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3935
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	31715,442
Итого:		349229,862

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 349229,862$ руб.

5.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может

определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта.

В нашем случае она составляет 69845,97 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

5.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(349229,862 + 69845,97) * 0,18 = 75433,65$ руб.

5.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 349229,862 + 69845,97 + 75433,65 = 494508,5121 \text{ руб.}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Дать оценку экономической эффективности проекта затруднительно на данном этапе исследования. Достоверное известно, что данная разработка будет эффективна в узконаправленных областях исследований, такие как клиническая медицина и диагностики лазерной оптики и пр. Она поможет повысить качество исследований, что в последствии только улучшит разработки где это будет использовано. Метод будет полезен в областях медицины, лазерной оптики и пищевой промышленности.
